



**Universidad de Alicante**

# **DISEÑO DE ACCIONES DE INVESTIGACIÓN EN DOCENCIA UNIVERSITARIA**

**Coordinadores**

**José Daniel Álvarez Teruel**  
**María Teresa Tortosa Ybáñez**  
**Neus Pellín Buades**

**© Del texto: los autores**

**© De esta edición:**

**Universidad de Alicante**  
**Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad**  
**Instituto de Ciencias de la Educación (ICE)**

**ISBN: 978-84-695-6638-1**

**Revisión y maquetación: Neus Pellín Buades**

Blasco Mira, J.E.; Zarco Pleguezuelos, P.; Vega Ramírez, L.; Rodríguez-Cano, C.; Roig Vila, R.; Toribio Jover, J.M.; Clavero Serrano, M.; Sebastián Marhuenda, J.; Ávalos Ramos, S.; Mengual Andrés, S.

135. La Acción Tutorial en la docencia presencial de la Facultad de Derecho.....2106

Rizo Gómez, M. B.; Almodóvar Iñesta, M.; Ballester Laguna, F.; Berenguer Albaladejo, C.; Durán Silva, C.; Iñesta Pastor, E.; Iñiguez Ortega, P.; Payá Riquelme, H.; Ribes Ribes, A.

136. Valoración del alumnado de las competencias adquiridas usando el ABP como metodología docente. Red de Investigación sobre implantación ECTS en FIA- GAA-MFAC.....2124

Aznar Gregori, F.; Arques Corrales, P.; Compañ Rosique, P.; Molina Carmona, R.; Mora Lizán, F.; Puchol García, J.A.; Pujol López, M.; Sempere Tortosa, M.; Rizo Aldeguer, R.; Villagrà Arnedo, C.

137. Implementación del portfolio en asignaturas de literatura y de lengua extranjeras: análisis de resultados y medidas de mejora.....2141

Llorca Tonda, M.A.; Aragón Cobo, M.; Corbí Sáez, M.I.; Domínguez Lucena, V.D.; Ramos López, F.; Ruiz Quemoun, F.; Verna Haize, CH.; Galván Llorente, J.; Idígora Fernández, S.; Lillo Romero, N.; López Ramírez, M.

138. Adaptación metodológica y diseño de materiales docentes de la asignatura Química Agrícola conforme a las directrices marcadas por el EEES.....2162

Cerdán Sala, M.M.; Bermúdez Bellido, M.D.; Ivorra Ponsoda, R.; Jordá Guijarro, J.D.; Juárez Sanz, J.M.; Sánchez Andreu, J.; Sánchez Sánchez, A.

139. Diseño de una herramienta virtual para la docencia en Prácticas de Laboratorio de Óptica Física-I.....2181

Fuentes Rosillo, R.; Fernández Varó, E.; Pascual Villalobos, I.; García Llopis, C.; González Pérez, C.

140. Red de investigación en docencia universitaria de la UA: “Universidad, Docencia, Género e Igualdad”.....2196

Rodríguez Jaume, M<sup>a</sup>.J.; Jareño Ruiz, D.; Rosser Limiñana, A.; Márquez Ruiz, A.; Espinar Ruiz, E.; López Padilla, V.; Iglesias García, M.; Díaz Sánchez, I.; Gabaldón Bravo, E.M<sup>a</sup>.; Salazar Agulló, M.; Jiménez Delgado, M.; Fortanet Van Assendelft de Coningh, C.A.; Cantó López, M<sup>a</sup>.T.; Provencio Garrigós, H.; Ruiz Callado, R.; Gutiérrez Mozo, M<sup>a</sup>.E.; Berna Martínez, J.V.; Suria Martínez, R.; Pérez del Hoyo, R.; Hernández Ruiz, A.; Albaladejo Blazquez, N.; Fernández Arrillaga, M<sup>a</sup>.I.; Fernández Pascual, M<sup>a</sup>.D.; Torres Díaz, M<sup>a</sup>.C.; Villegas Castrillo, E.; González Río, M<sup>a</sup>.J.; Ferreira Prieto, J.I.; Mañas Viejo, C.R.; M<sup>a</sup> Concepción Collado Mateo; Angel Grediaga Olivo; M<sup>a</sup> Nieves Montesinos Sánchez; Moraga García, M<sup>a</sup>.A.; Penalva Verdú, C.; Moreda Pozo, M<sup>a</sup>.P.; Mora Catalá, R.; de Juan Vigaray, M<sup>a</sup>.D.; Alaminos Chica, A.F.; Castro López, M<sup>a</sup>.A.; Martín Llaguno, M.; Esquembre Valdés, M<sup>a</sup>.M.; Saquete Boro, E.; Santacreu Fernández, O.A.; Garay Montañez, N.M.; Giménez Casaldueiro, F.; Papí Gálvez, N.; Aliaga Sánchez, M<sup>a</sup>.C.; Algado Ferrer, M<sup>a</sup>.T.; Ruiz Cantero, M<sup>a</sup>.T.; García Alcocel, E.M<sup>a</sup>.; Satorre Cuerda, R.

141. El trabajo de investigación autónomo como instrumento de evaluación en Dirección Comercial II.....2208

Sancho Esper, F.M.; Mas Ruiz, F.J.; Sellers Rubio, R.; Casado Díaz, A.B.; García Cifuentes, C.; Jornet García, I.

142. Diseño de prácticas interdisciplinares orientadas al desarrollo de competencias genéricas para Ingeniería Multimedia y Magisterio.....2226

Marcos Jorquera, D.; Pertegal Felices, M<sup>a</sup>.L.; Gilar Corbí, R.; González García, M<sup>a</sup>.; Sánchez Romero, J.L.; Jimeno Morenilla, A.M.

143. ReDIMABP-Red de Diseño e Implementación de Materiales Docentes con ABP (Aprendizaje Basado en Proyectos/en Problemas): Curso académico 2011-12.....2242

Muñoz Baell, I.M.; La Parra Casado, D.; Ortiz Moncada, R.; Davó Blanes, M.C.; Álvarez García, J.S.; Sánchez Mateos, A.; Muela Bernabéu, J.

144. Mejora de la relación entre prácticas de laboratorio y teoría: aplicación a un caso práctico.....2264

Herrero, E.; Montiel, V.; Climent, V.; Sánchez-Sánchez, C.M.; Gómez-Mingot, M.; Chumillas, S.; Gomis, A.

145. Desarrollo y mejora de las estrategias de autoevaluación formativa de la asignatura de Fundamentos del Diseño Gráfico.....2280

# **Diseño de una herramienta virtual para la docencia en Prácticas de Laboratorio de Óptica Física-I**

R. Fuentes Rosillo, E. Fernández Varó, I. Pascual Villalobos,  
C. García Llopis, C. González Pérez

*Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía  
Universidad de Alicante*

## **RESUMEN**

Esta red se creó inicialmente con el objetivo de elaborar los vídeos correspondientes a las nuevas Prácticas de Laboratorio de la asignatura de Óptica Física-I, sin embargo posteriormente se orientó a la elaboración de una herramienta virtual global, donde los vídeos fueran una parte de ella. El diseño de dicha herramienta permite ayudar al alumnado a desarrollar, de una forma integral, las competencias prácticas que conlleva esta asignatura. El objetivo general que se pretende es conseguir un entorno interactivo que unifique diferentes aspectos como son: la información que aportan los guiones de las prácticas; la visualización del fenómeno que se estudia a través de un vídeo explicativo; la obtención de los propios resultados a través de las medidas experimentales realizadas y su gestión utilizando Hojas Excel, así como la observación de simulaciones en las que el usuario pueda ir variando los valores de los parámetros que entran en juego para comprobar su efecto sobre el fenómeno estudiado. En esta red se ha pretendido dar un nuevo enfoque metodológico en el proceso enseñanza-aprendizaje de las prácticas de laboratorio que permite aumentar la participación del alumno y que conduce a una visión más completa del fenómeno que se esté estudiando.

**Palabras clave:** Óptica Física, Prácticas de Laboratorio, Herramienta Virtual, Metodología docente.

## 1. INTRODUCCIÓN

La metodología docente universitaria está siendo, en nuestros días, revisada de forma continua y ello es debido, fundamentalmente, a que se han introducido los nuevos Grados dentro del sistema educativo. A su vez, con el empuje de las nuevas tecnologías cada vez se tiende más a disponer de materiales multimedia y recursos informáticos que permitan, tanto a profesores como a alumnos, mejorar las técnicas de enseñanza y aprendizaje.

La asignatura de Óptica Física I se imparte en el segundo curso del Grado de Óptica y Optometría. Se encuadra dentro de la materia general “Óptica” y forma parte del grupo de asignaturas de formación obligatoria del futuro Graduado.

En la asignatura de Óptica Física I se introduce el modelo de onda electromagnética para la luz, de manera que la energía de un haz de luz es la energía que transporta la onda electromagnética. A través de este modelo no sólo se pueden deducir las leyes de la reflexión y la refracción sino que además se puede obtener información sobre las densidades de flujo radiante incidente, reflejado y transmitido. Por otra parte mientras que en Óptica Geométrica el índice de refracción de los medios materiales es un número que relaciona la velocidad de la luz en el medio con relación a su valor en el vacío, el modelo electromagnético proporciona además un conocimiento específico de los parámetros físicos del medio que determinan el valor de su índice de refracción. Además el modelo de onda electromagnética permite abordar el estudio de la propagación de la luz incorporando aspectos relacionados con la polarización, que aportarán al futuro Graduado los conocimientos necesarios para comprender los principios de funcionamiento de algunos dispositivos de diagnóstico.

En la preparación de esta asignatura se han elaborado nuevas prácticas de laboratorio; en total han sido seis, cinco de las cuales son totalmente nuevas y sólo una parte de una de ellas se realizaba en los antiguos estudios de la Diplomatura de Óptica y Optometría, por tanto el reto ha sido importante. No se han comprado “kits” ya montados de prácticas sino que se ha hecho un diseño del montaje de cada una de ellas y se ha ido comprando individualmente el material. Posteriormente ha sido necesario escribir unos guiones explicativos de las mismas, que representan una guía necesaria de trabajo para los alumnos. El objetivo de diseñar una herramienta virtual global que complemente la docencia presencial en prácticas de laboratorio se ha comenzado con la elaboración de Hojas Excel para cada una de las prácticas, con el fin de procesar los datos experimentales que se obtienen de ellas y obtener los resultados finales.

## 2. METODOLOGÍA

La asignatura que es objeto de este artículo, Óptica Física I se imparte en el segundo cuatrimestre del 2º curso del Grado de Óptica y Optometría y le corresponden 6 créditos ECTS. A nivel de horas de docencia presencial, esta asignatura tiene 25 horas de clases de Teoría, 15 horas de clases de Problemas, 3 horas de Tutorías Grupales y 17 horas de clases de Prácticas de Laboratorio. El temario que se imparte contiene 6 temas agrupados en tres bloques temáticos:

Bloque I.- Movimiento Ondulatorio.

Tema 1.- Movimiento ondulatorio I: Ecuación diferencial de onda.

Tema 2: Movimiento ondulatorio II. Superposición de ondas.

Bloque II.- Propagación de la luz.

Tema 3.- Teoría electromagnética de la luz.

Tema 4.- Reflexión y refracción de la luz en medios isótropos.

Bloque III.- Polarización.

Tema 5.- Polarización.

Tema 6.- Obtención y análisis de luz polarizada

A partir de este temario se diseñaron las siguientes prácticas:

Práctica Nº 1: Ecuaciones de Fresnel-I: Componente perpendicular de la Reflectancia y de la Transmitancia.

Práctica Nº 2: Ecuaciones de Fresnel- II: Componente paralela de la Reflectancia y la Transmitancia. Ángulo de Brewster.

Práctica Nº 3: Efecto de los polarizadores sobre la luz. Ley de Malus.

Práctica Nº 4: Polarización por reflexión y por transmisión. Determinación del Grado de Polarización.

Práctica Nº 5: Estudio de láminas retardadoras: Líneas neutras y desfases.

Práctica Nº 6: Obtención y caracterización de distintos tipos de luz polarizada: Determinación de los parámetros de Stokes.

Estas seis prácticas se llevan a cabo durante seis sesiones de 2.5 horas de duración lo cual hace 15 horas en total. Para completar las 17 horas que le corresponden, durante la séptima sesión, que tiene una duración de 2 horas más, los alumnos deben hacer un examen por escrito con cuestiones sobre las prácticas de laboratorio realizadas.

Como puede verse el Bloque I de la asignatura es un bloque introductorio, aunque no por ello menos importante. En todas las prácticas se trata a la luz como una

onda y este bloque aporta tanto los conceptos básicos como las herramientas matemáticas necesarias para poder expresar y resolver cualquier problema relacionado con ondas. Así pues, se puede decir que está presente de forma general en todas ellas. Sin embargo, a la hora de preparar las prácticas que iban a representar a esta asignatura, el objetivo fue profundizar en el estudio experimental de conceptos más específicos que son los que aparecen en los Bloques II y III. Por tanto las Prácticas 1 y 2 se encuadran dentro del Bloque temático II; las Prácticas 3,5 y 6 dentro del Bloque III y en la Práctica 4 se abordan conceptos que forman parte de los Bloques II y III. Con lo cual de esta forma se conseguía un cierto equilibrio en todo el temario.

Para la elaboración de los guiones de cada práctica se empleó, lógicamente, el mismo material bibliográfico que el utilizado para preparar la asignatura, tanto a nivel general [1-6] como específico [7-8].

### **3. RESULTADOS**

En este apartado se presenta de forma resumida tanto los objetivos que se pretenden alcanzar en cada práctica, como una breve descripción del fundamento teórico que subyace en el fenómeno que recoja cada una. Esto será necesario para comprender el procedimiento seguido en la elaboración de las Hojas Excel que, utilizadas en cada una de las prácticas como herramienta virtual, han permitido a los alumnos obtener los resultados finales de las mismas de una forma eficiente. En el apartado de Anexos del final de este artículo aparecen, a modo de ejemplo, algunas de estas Hojas Excel.

Como se verá a continuación, el volumen de datos experimentales que se manejan en cada práctica es elevado y esta herramienta supone no sólo un ahorro de tiempo y la posibilidad de terminar la práctica completamente en el laboratorio sino que permite además visualizar los resultados a modo de gráficas para poder comprender mejor los conceptos que se estudian.

#### **3.1.- Práctica Nº 1: Ecuaciones de Fresnel: Componente perpendicular de la Reflectancia y de la Transmitancia.**

En esta práctica un haz de luz, expandido y colimado, procedente de un láser de He-Ne incide sobre una lámina de vidrio que tiene una cubierta negra en su cara posterior con el fin de obtener únicamente la intensidad reflejada en la primera interfase aire-vidrio. Para conseguir la polarización adecuada con precisión, el haz se hizo pasar por un polarizador con su eje de transmisión vertical para poder obtener la componente

perpendicular al plano de incidencia tanto de la Reflectancia,  $R$ , como de la Transmitancia,  $T$ .

En la Hoja Excel que se ha diseñado, Fig.1, los alumnos deben introducir, para cada ángulo de incidencia, las medidas realizadas de la intensidad reflejada, la intensidad incidente y la intensidad de fondo. Estos valores permiten calcular la Reflectancia experimental y por tanto deducir la Transmitancia experimental. La necesidad de medir la intensidad incidente en cada caso se debe a que la potencia emitida por el láser no era constante, experimentaba fluctuaciones y eso podía generar errores posteriores en los cálculos si no se tenía en cuenta. Para obtener los valores teóricos de dichas magnitudes, lo que se hizo fue introducir la ecuación de Fresnel correspondiente a la componente perpendicular del coeficiente de reflexión, de modo que elevándola al cuadrado se obtenía la Reflectancia teórica y a partir de ella la Transmitancia teórica. El valor del índice de refracción del vidrio se midió mediante un Refractómetro de Abbe, lo cual permitía, utilizando la Ley de Snell, calcular el ángulo refractado a partir del incidente y con estos valores determinar finalmente tanto la Reflectancia como la Transmitancia y representarlas gráficamente frente al ángulo de incidencia.

En esta práctica, el rango experimental de variación del ángulo de incidencia no pudo ser de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  porque experimentalmente es imposible conseguirlo por razones prácticas materiales, relacionadas con las dimensiones tanto de las bases como del soporte del detector, así como del propio banco óptico que son imposibles de evitar, así que el rango fue entre  $10^\circ$  y  $80^\circ$  que es lo suficientemente extenso como para ver las variaciones de las magnitudes objeto de estudio.

### **3.2.- Práctica N° 2: Ecuaciones de Fresnel: Componente paralela de la Reflectancia y de la Transmitancia.**

El montaje de esta práctica es igual al de la práctica 1 pero en este caso a la salida del láser se colocó un polarizador con su eje de transmisión horizontal para poder obtener la componente paralela al plano de incidencia tanto de la Reflectancia,  $R$ , como de la Transmitancia,  $T$ . La variación de estas magnitudes con el ángulo de incidencia es totalmente diferente a la estudiada en la primera práctica. Además el interés de esta segunda práctica radica en que permite comprender el significado del ángulo de Brewster o de polarización y obtener su valor experimental que, a su vez, permite determinar el índice de refracción del vidrio que se está utilizando y comprobar que se ajusta perfectamente al valor teórico. A nivel experimental la dificultad radicaba en



tomar las medidas del haz reflejado cuando éste prácticamente se extingue en el rango próximo al ángulo de Brewster. Durante la realización de la práctica la luz del laboratorio debía estar apagada y en este caso con mayor razón. De este modo el alumno podía comprobar experimentalmente que cuando un haz de luz incidía con el ángulo de Brewster la componente paralela del campo eléctrico de la luz reflejada se anulaba mientras que la componente perpendicular no, tal como sucedía en la práctica 1, por tanto, si sobre una interfase incide luz natural con las dos componentes de campo eléctrico, la luz reflejada que se obtiene estará linealmente polarizada y de ahí el nombre que se le da a este ángulo.

La Hoja Excel que se diseñó para esta práctica tiene un formato equivalente al de la primera, solo que a nivel teórico las ecuaciones de Fresnel que se utilizan son las de las componentes paralelas al plano de incidencia. De forma equivalente a la primera aquí también se obtienen gráficas tanto de las curvas de Reflectancia como de Transmitancia frente al ángulo de incidencia.

Estas dos prácticas se realizan de forma separada debido al tiempo que necesitan. El número de medidas experimentales que se hace en cada una de ellas es elevado, en la primera son 45 medidas y en la segunda son 48. Además la posición del detector debe cambiar dos veces para cada ángulo de incidencia y cada vez es importante colocarlo de modo que el haz incida según la normal a su área y que dicha área esté totalmente iluminada. El detector es sensible a las inclinaciones y a la proporción de área iluminada por lo que si no se cuidan estos detalles se cometerían errores en las medidas que se realizan.

### **3.3.- Práctica N° 3: Efecto de los polarizadores sobre la luz. Ley de Malus.**

En esta práctica se trataba de que los alumnos comprendiera el concepto de eje de transmisión de un polarizador y que vieran qué efecto tiene este tipo de dispositivo sobre la luz natural el colocar uno, dos o tres polarizadores.

En el montaje óptico se generó un haz colimado de luz natural, procedente de una fuente de luz blanca y se comprobó que cuando dicho polarizador giraba, la irradiancia del haz emergente apenas variaba. La pequeña variación que existía se debía a que la bombilla de la lámpara tenía un filamento lineal y eso hacía que emitiera un poco más en una dirección que en otra.

Posteriormente el haz de luz natural atravesaba dos polarizadores; al atravesar el primero de ellos se obtenía luz linealmente polarizada y lo que se hizo fue mantener el primer polarizador fijo en una posición dada, mientras se hacía girar el segundo. Se

comprobó que la irradiancia pasaba de un máximo cuando los ejes de transmisión de los dos polarizadores eran paralelos a un mínimo nulo cuando los ejes de transmisión eran perpendiculares entre sí. En la Hoja Excel que se diseñó había una columna para introducir la irradiancia medida experimentalmente y en otra columna aparecía la irradiancia teórica para la cual se introdujo la ecuación correspondiente a la Ley de Malus:

$$I = I_{MAX} \cos^2 \theta$$

donde  $I_{MAX}$  representa la irradiancia emergente cuando los dos polarizadores son paralelos y el ángulo “ $\theta$ ” es el que forman en cada momento los ejes de transmisión de los polarizadores. En la gráfica que se obtenía se podía comprobar que la curva experimental tenía la forma de un coseno al cuadrado y que por tanto ambas irradiancias coincidían al representarlas frente al ángulo “ $\theta$ ”.

En la tercera parte de la práctica el haz de luz natural debía pasar a través de tres polarizadores, siendo el primero y el último perpendiculares entre sí con lo cual no dejaban pasar luz. Sin embargo al colocar un polarizador intermedio sí que se podía obtener luz a la salida si se orientaba adecuadamente. Así pues lo que se hizo fue girar el polarizador intermedio entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  comprobando, que salvo para estos ángulos extremos, en el resto siempre se obtenía luz, consiguiéndose un máximo a los  $45^\circ$ . Se diseñó una Hoja Excel adicional que diera cuenta de esta prueba. En ella, en una columna se iba introduciendo los valores de la irradiancia experimental y en la otra aparecía la irradiancia teórica para la cual en este caso se había tenido que aplicar dos veces la Ley de Malus y se expresaba como:

$$I = I_{MAX} \cos^2 \theta \cos^2 (90 - \theta)$$

la cual genera una curva de tipo campana de Gauss centrada en los  $45^\circ$ . En los valores experimentales finales se tuvo en cuenta la irradiancia de fondo que existía en el laboratorio así como el factor de transmisión del tercer polarizador.

En el caso de esta práctica hay que destacar lo ilustrativo que es para los alumnos el poder obtener las gráficas directamente, lo cual permite comprender mucho mejor el efecto de los polarizadores lineales sobre la luz.

### **3.4.- Práctica N° 4: Polarización por reflexión y por transmisión. Determinación del Grado de Polarización.**

El objetivo de esta práctica es que el alumno comprenda que una forma de obtener luz polarizada a partir de luz natural es incidir sobre una interfase dada con el

ángulo de Brewster. También que aprenda a manejar el Grado de Polarización como un parámetro de medida de la proporción de luz polarizada que contiene un haz.

A partir de una fuente de luz blanca se genera un haz colimado que incide sobre una lámina de vidrio con el ángulo de Brewster y se obtiene un haz reflejado y un haz transmitido. El haz reflejado se hace pasar por un polarizador hasta que llega a un luxómetro. Las medidas de la irradiancia emergente cuando el polarizador tiene su eje de transmisión horizontal y cuando lo tiene vertical permiten calcular el Grado de Polarización de ese haz y se obtiene un valor muy alto, concretamente un 92%, lo cual indica que esa luz está muy polarizada. Con el haz transmitido por la lámina de vidrio, se hace lo mismo, es decir, se miden las dos irradiancias para las dos orientaciones del polarizador y se calcula su Grado de Polarización, pero en este caso se encuentra un valor bajo, sólo un 14%. Posteriormente se van añadiendo más láminas hasta llegar a seis y se va calculando el Grado de Polarización en cada caso. Al llegar a seis se obtiene un valor de un 50%, es decir, se comprueba experimentalmente que por transmisión también se puede polarizar la luz.

En la Hoja Excel que se diseñó para esta práctica, Fig. 2, se debe indicar el número de láminas de vidrio que hay en la muestra, y en cada caso el valor de las dos irradiancias asociadas a las dos orientaciones del polarizador. En otra columna se calcula el Grado de Polarización experimental del haz transmitido, así como su error, y finalmente en la última columna se introduce la fórmula teórica del Grado de Polarización, en la que aparece el índice de refracción del vidrio cuyo valor se midió con un refractómetro de Abbe y el número de láminas que tiene la muestra. También aparece una gráfica donde se ve como el Grado de Polarización del haz transmitido por el vidrio va aumentando conforme aumenta el número de láminas y se comprueba cómo cada valor experimental, con su margen de error, contiene al valor teórico.

### **3.5.- Práctica N° 5: Estudio de láminas retardadoras: Líneas neutras y desfases.**

En esta práctica se trata de caracterizar una lámina birrefringente, concretamente una lámina de cuarto de onda, tanto a nivel de encontrar sus líneas neutras (eje rápido y su perpendicular) como a nivel de determinar el desfase que introduce y cómo puede cambiar el estado de polarización de la luz que incida sobre ella.

En este caso en el montaje óptico, una onda plana de luz natural incidía sobre un conjunto de dos polarizadores con sus ejes de transmisión cruzados, con lo cual la intensidad transmitida por el conjunto es nula. A continuación, se coloca entre los dos

polarizadores la lámina retardadora que, al introducir un cierto desfase, podía cambiar el estado de polarización de la luz que incidía sobre ella y en general hacía que la intensidad total transmitida por todo el conjunto no fuera nula. Sin embargo al ir girando dicha lámina entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$  hay cuatro posiciones en su escala que hacen que de nuevo la intensidad se anule o alcance un valor mínimo. Estas posiciones angulares estaban separadas entre sí por  $90^\circ$  de diferencia de manera que cada pareja, separada por  $180^\circ$ , representaba las dos direcciones correspondientes a las líneas neutras de la lámina.

Posteriormente con el fin de determinar el desfase lo que se hace es colocar la lámina retardadora tal como quedó al encontrar una de sus líneas neutras y se va girando la lámina en pasos de  $5^\circ$  hasta llegar a  $90^\circ$ . Simultáneamente se va midiendo la intensidad emergente del conjunto.

En la Hoja Excel que se preparó, Fig. 3, se va introduciendo para cada valor de la posición angular ( $\alpha=0^\circ$  a  $90^\circ$ ) de la lámina retardadora la intensidad emergente del conjunto normalizada respecto a la máxima que puede transmitir,  $I_{\text{norm}}$ , y al representar dicha intensidad frente a la función  $\text{sen}^2(2\alpha)$  se obtiene una recta de cuya pendiente  $\text{sen}^2\left(\frac{\delta}{2}\right)$  se puede deducir el valor del desfase “ $\delta$ ” que introduce la lámina ya que ambas están relacionadas mediante la ecuación:

$$I_{\text{norm}} = \text{sen}^2\left(\frac{\delta}{2}\right) \text{sen}^2(2\alpha)$$

Hay que mencionar que en esta práctica el número de medidas experimentales directas era de 19 que posteriormente generarían otras 19 después de tener en cuenta los factores de transmisión de los polarizadores y de la lámina retardadora además del cálculo de los 19 errores que conlleva estas medidas corregidas con los factores de transmisión. Con lo cual los alumnos no habrían tenido tiempo de terminar la práctica en el laboratorio, por tanto se les pide es que en su cuaderno deduzcan la formula del error en todos los casos pero sin hacer las sustituciones numéricas.

En esta práctica también se ha diseñado una segunda Hoja Excel, Fig.4, que corresponde a la segunda parte de la misma, en la que se comprueba cómo la lámina de  $\lambda/4$  puede cambiar el estado de polarización de la luz que incide sobre ella. Se estudian dos casos, en el primero le incide luz linealmente polarizada a  $45^\circ$  y la transforma en luz circularmente polarizada y en el segundo le incide luz linealmente polarizada a  $30^\circ$  y la convierte en luz elípticamente polarizada. Para reconocerlas lo que se hace es pasar el haz de luz problema por un polarizador que actúa como analizador y que gira entre  $0^\circ$  y

90° ó entre 0 y 180° según el caso. En la Hoja Excel aparecen dos columnas de datos relacionando la posición angular del analizador con el valor de la intensidad emergente y al lado la gráfica representando a ambas magnitudes. Al ver la forma de las curvas, en las gráficas que se obtienen, se puede deducir de manera directa el tipo de luz polarizada que se tiene en el haz problema en cada caso.

### **3.6.- Práctica N° 6: Obtención y caracterización de distintos tipos de luz polarizada: Determinación de los parámetros de Stokes.**

En esta práctica el objetivo que se pretende es que el alumno se familiarice con diferentes distintos tipos de luz polarizada tanto a nivel de obtención, utilizando polarizadores y retardadores, como a nivel de análisis, para reconocer esos tipos utilizando también polarizadores y retardadores.

La aportación interesante de esta práctica es que presenta una descripción de la polarización en función de una magnitud que se pueden medir directamente en el laboratorio como es la intensidad de una onda y para ello se introducen los Parámetros de Stokes ( $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ) tales que una vez determinados permiten conocer el estado de polarización del haz de luz que se esté analizando, ya sea luz natural, total o parcialmente polarizada. Su definición viene dada por:

$$\begin{aligned} S_0 &= I_0 \\ S_1 &= 2I_1 - I_0 \\ S_2 &= 2I_2 - I_0 \\ S_3 &= 2I_3 - I_0 \end{aligned}$$

donde  $I_0$ : Intensidad de la luz problema a caracterizar medida directamente.  
 $I_1$ : Intensidad obtenida cuando la luz problema atraviesa un polarizador lineal con su eje de transmisión horizontal.  $I_2$ : Intensidad cuando la luz problema atraviesa un polarizador lineal con su eje de transmisión a +45°.  $I_3$ : Intensidad cuando la luz problema atraviesa un conjunto analizador compuesto por una lámina retardadora ( $\lambda/4$  con sus ejes centrados, siendo el eje rápido horizontal) y un polarizador lineal, con su eje de transmisión a +45°.

Así pues  $S_0$  es simplemente la irradiancia del haz, mientras que  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$  especifican el estado de polarización de dicho haz de luz.

A nivel experimental el alumno debe generar cinco haces de luz diferentes: Luz linealmente polarizada horizontal, Luz linealmente polarizada a +45°, Luz circular levógira, Luz elípticamente polarizada dextrógira y Luz natural y posteriormente

someter a cada haz a las pruebas necesarias para obtener los cuatro parámetros de Stokes que lo caracterizan.

En la Hoja Excel que se diseñó el alumno debe introducir los valores de 20 medidas, concretamente los valores de  $I_0$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  obtenidas con un luxómetro digital, al ir colocando en el haz problema los elementos ópticos del “sistema analizador” en el orden y orientación adecuada. También fue necesario determinar los factores de transmisión del polarizador y la lámina de  $\lambda/4$  que se utilizaban en el sistema analizador y que permitían obtener los valores de las intensidades corregidas  $I'_0$ ,  $I'_1$ ,  $I'_2$ ,  $I'_3$  que tenían en cuenta la absorción de los elementos ópticos utilizados en el análisis, esto proporcionaba 20 valores más. Posteriormente se introdujeron las ecuaciones de los cuatro parámetros de Stokes normalizados (siendo  $S_0$  igual a la unidad) que proporcionaron 20 valores más y finalmente en las columnas siguientes se introdujo la fórmula de error para cada uno de estos parámetros y que proporcionaba 20 valores más. Finalmente a modo de vector columna, como es usual encontrarlo en los libros, se introdujeron los valores teóricos de los distintos haces de luz utilizados para comprobar que los valores experimentales con su margen de error contenían a los valores teóricos.

A los alumnos se les pide que determinen la fórmula de error tanto de los factores de transmisión como de cada uno de los parámetros de Stokes, pero no que lo calculen numéricamente porque no les da tiempo, como pudimos comprobar cuando esta Hoja Excel no estaba aún preparada. En cambio al disponer de la Hoja Excel, les da tiempo de terminarla completamente en el laboratorio, además de que ellos mismos pueden ir comprobando para cada haz de luz si les ha salido bien o si hay algún problema en la colocación de los elementos ópticos del montaje o en la forma en la que han tomado las medidas.

### **3.7.- Realización de vídeos de las prácticas**

El siguiente paso en el proyecto global que estamos llevando a cabo sobre la metodología docente en prácticas de laboratorio conlleva la realización de vídeos explicativos de las mismas que podrían ser visualizados por los alumnos previamente a su realización en el laboratorio, como parte de la carga de créditos no presenciales que conlleva esta parte de la asignatura y teniendo en cuenta que mejoraría el aprovechamiento del tiempo presencial de los alumnos en el laboratorio. A la hora de elaborar los vídeos de las prácticas es necesario redactar previamente un guión explicativo de las mismas, para posteriormente superponerlo a las imágenes grabadas e ir sincronizando los planos generales, los planos medios o los planos de detalle, con el

guión narrado. Este guión no es el mismo que el que se ha preparado como plan de trabajo para los alumnos, sino que debe ser un resumen de la práctica donde se exponga el objetivo de la misma, el montaje óptico con el material que se utiliza, los procesos físicos que experimenta el haz de luz al atravesar los distintos elementos del montaje experimental que se utiliza y finalmente la forma de realizar las medidas experimentales que van a permitir obtener los resultados. Es decir que previamente a la grabación de los vídeos ha sido necesario hacer una planificación de lo que se va a recoger en ellos, en qué orden y desde qué perspectiva. Hasta ahora hemos realizado los vídeos correspondientes a dos prácticas y el objetivo es continuar con las demás.

#### **4. CONCLUSIONES**

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en el inicio del diseño de una herramienta virtual global para facilitar el trabajo de los alumnos durante la realización de las prácticas de laboratorio en la asignatura de Óptica Física-I. Se exponen los fundamentos tanto teóricos como prácticos que conlleva la elaboración de las diversas Hojas Excel, de cada práctica. Estas herramientas virtuales permiten obtener los resultados finales de los procesos estudiados, también el cálculo de error que conlleva todo trabajo experimental, así como gráficas que facilitan la visualización de la magnitud óptica que se esté tratando y su relación con otras. Dado que el volumen de datos experimentales que se maneja en estas prácticas es elevado, el hecho de que los alumnos dispongan en el propio laboratorio de ordenadores para poder utilizar estas Hojas Excel, ha supuesto no solo una mayor eficiencia en cuanto al tiempo que le lleva al alumno la realización de la práctica sino una comprensión integral de los conceptos y procesos que se abordan en cada una de ellas.

Se han realizado los vídeos correspondientes a dos prácticas de esta asignatura con el fin de que los alumnos los puedan visualizar previamente a su realización y les permita conocer los fundamentos y el objetivo que se persigue en cada práctica.

#### **5.- DIFICULTADES ENCONTRADAS**

En la preparación de las Hojas Excel de cada práctica, las dificultades estaban en la introducción correcta tanto de las fórmulas de las magnitudes que había que calcular como de las fórmulas de error de dichas magnitudes. En general eran bastante largas y había que ser cuidadoso con los detalles.

En la elaboración de los vídeos la principal dificultad encontrada fue que el haz del láser que pasa a través de los distintos elementos ópticos no lo puede captar la cámara. Para que este haz se pueda grabar debe incidir sobre superficies que sean buenas reflectantes y que en el laboratorio haya una iluminación de fondo no muy intensa. Por tanto se debe adaptar la configuración de la cámara digital para que cumpla con los requisitos necesarios a nivel de calidad y resolución y que a su vez estén adaptados a las condiciones de luz.

## **6.- PROPUESTAS DE MEJORA**

Conocer las posibilidades básicas de los fundamentos de edición digital de vídeo que permitan mejorar las grabaciones. Conocer las posibilidades que ofrece MATLAB a la hora de implementar las interfaces gráficas de usuario (GUI).

## **7.- PREVISIÓN DE CONTINUIDAD**

Realizar los vídeos de las prácticas que faltan y continuar con el diseño de una interfaz gráfica global de usuario que permita al alumno acceder tanto a los guiones de las prácticas, como a las simulaciones de las mismas hechas con MATLAB, a los vídeos explicativos y a las Hojas Excel, para los cálculos necesarios.

## **8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1.- Hecht, E. (2006). *Óptica*. Madrid: Pearson-Addison Wesley.
- 2.- Casas Peláez, J. (1994). *Óptica*. Zaragoza :Librería Pons.
- 3.- Diaz Navas. J.A., Medina Ruiz, J.M. (2006). *Ondas de luz* .Granada: Copi Centro Granada.
- 4.- Bennet,C.A. (2008). *Principles of Physical Optics*. Hoboken:Wiley-Interscience.
- 5.- Jenkins, F. & White, H. (1981). *Fundamentals of Optics*. Aukland: McGraw-Hill Book Company.
- 6.- Pedrotti, F.L. (2007). *Introducction to Optics*. San Francisco. Pearson-Addison Wesley.
- 7.- Huard, S. (1997). *Polarization of light*. Chichester: John Wiley. París. Masson.
- 8.- Goldstein, D. (2003). *Polarized Light*. New York ; Basel : Marcel Dekker.



## ANEXOS:

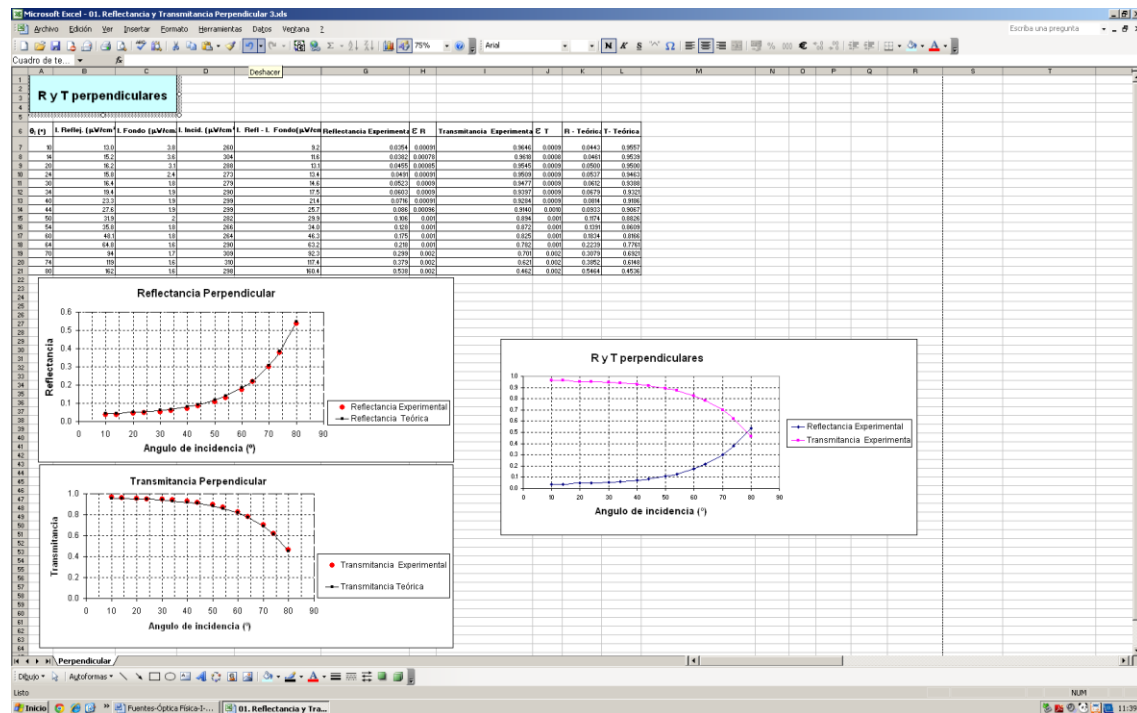


Figura 1: Hoja Excel para realizar la práctica N°1

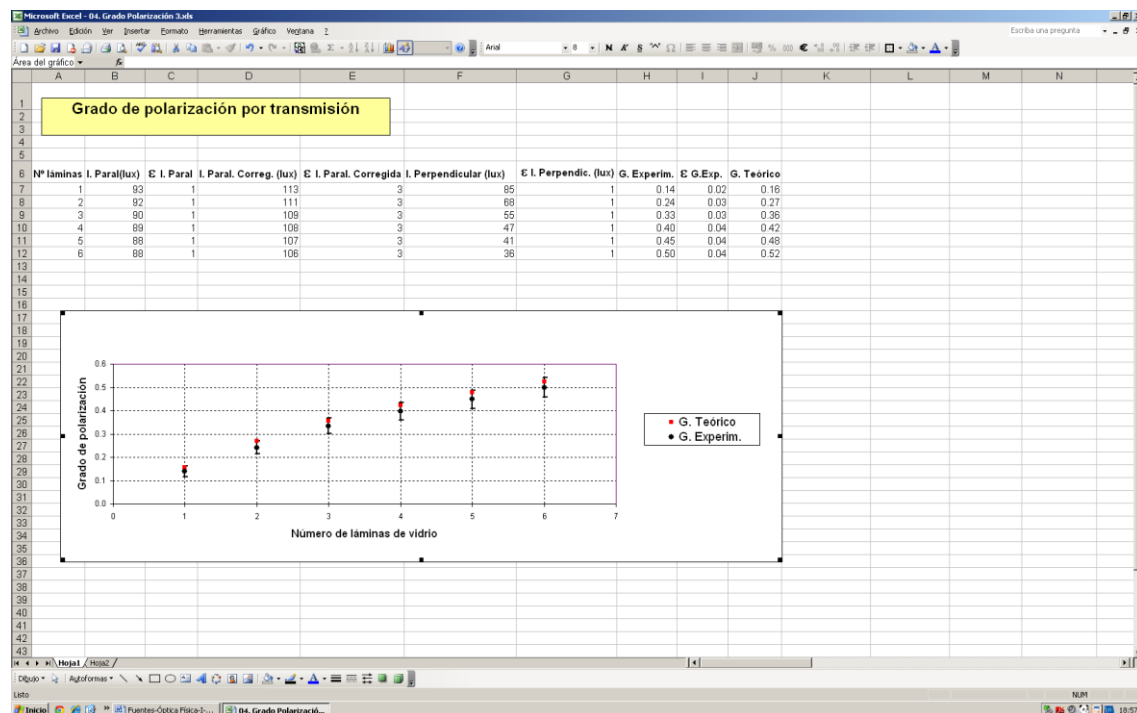


Figura 2: Hoja Excel de la práctica N° 4

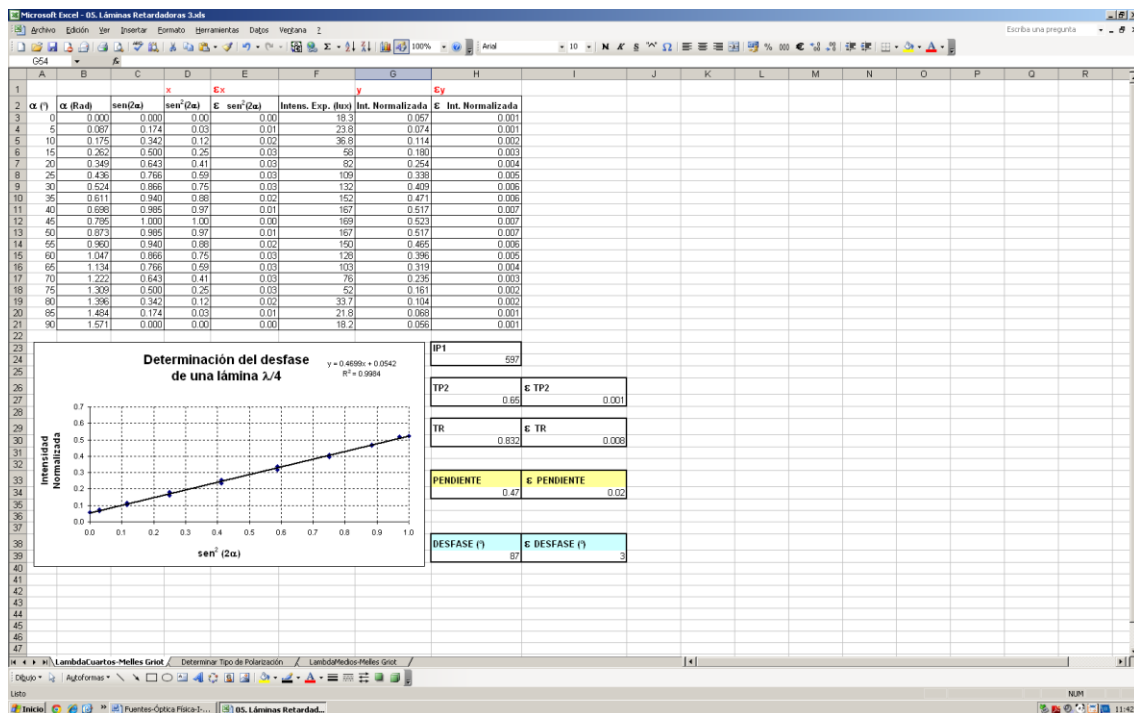


Figura 3: Hoja Excel de la primera parte de la práctica N° 5

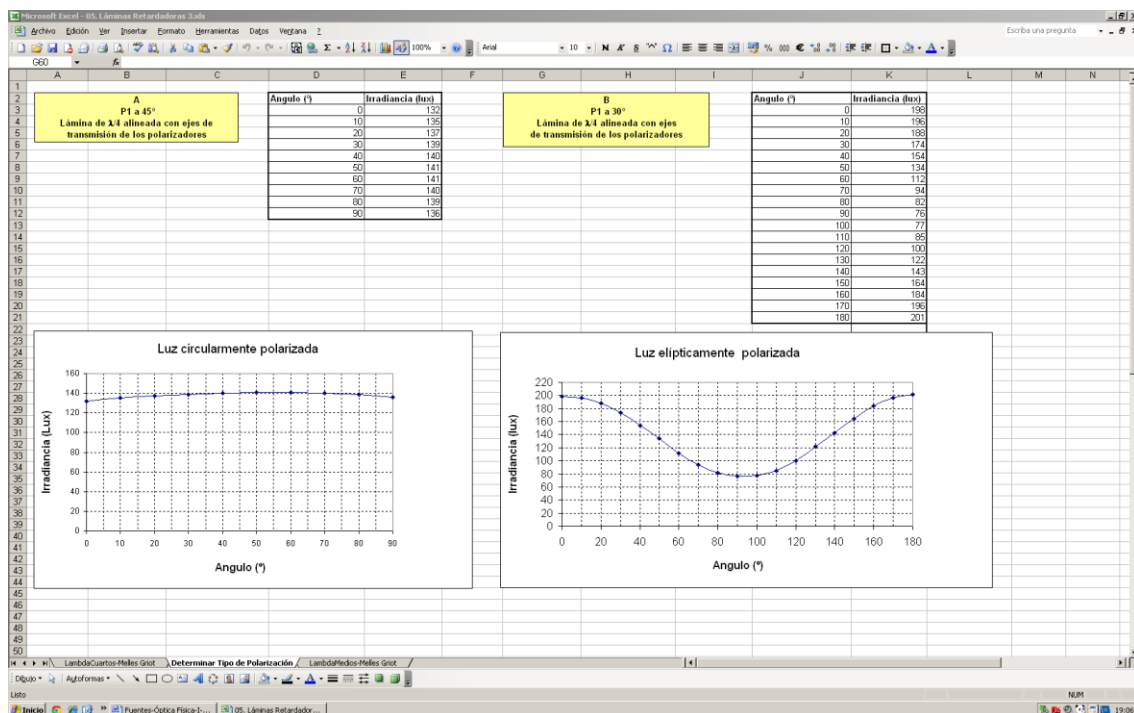


Figura 4: Hoja Excel de la segunda parte de la práctica N°5